



TITLE:

8.間接遷移型AlAs/GaAs混晶及び短周期超格子の励起子ダイナミックス(北海道大学大学院理学研究科物理学専攻,修士論文題目・アブストラクト(1987年度)その1)

AUTHOR(S):

都鳥, 顕司

CITATION:

都鳥, 顕司. 8.間接遷移型AlAs/GaAs混晶及び短周期超格子の励起子ダイナミックス(北海道大学大学院理学研究科物理学専攻,修士論文題目・アブストラクト(1987年度)その1). 物性研究 1988, 50(5): 843-844

ISSUE DATE:

1988-08-20

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/93253>

RIGHT:

8. 間接遷移型 AlAs/GaAs 混晶及び短周期超格子の励起子ダイナミクス

都 鳥 顕 司

Al_{1-x}Ga_{1-x}As 混晶は、圧力の変化や混晶比 x の変化に対して、 Γ 点、X 点等で電子伝導帯のエネルギーはそれぞれ異なった変化を示す。混晶比を増加させると、 $x = x_c$ ($x_c = 0.435$) で直接遷移型から間接遷移型に移行する(図1)。 $x = x_c$ 近傍の間接型である Al_{1-x}Ga_{1-x}As 混晶は間接型であるにもかかわらず、低温で吸収端近傍に強い励起子発光が観測される(図2)。これは原子配列の不均一さ及び X 点と Γ 点のエネルギー準位が近いことにより X- Γ 混合が起こるためである。この X- Γ 混合の効果により、いままであまり調べられていなかった間接型 Al_{1-x}Ga_{1-x}As 混晶半導体の励起子ダイナミクスが、光学的方法により精密に研究できるようになった。本研究では $x = 0.45$ の試料の励起子発光の時間応答を測定し、間接領域の励起子緩和を調べた。

励起子発光線内での減衰時定数は 10 K 以上で大きく変化しており、低エネルギー側で長く(図3)、時間が経つとスペクトルの重心は低エネルギー側に移動することが判明した。また、発光積分強度は、一般の間接型半導体とは異なり、温度の上昇と共に減少する(図4)。その温度依存性は、活性化型ではなく、温度 T に対し $\exp(-T/T_0)$ の型に従っている。これは、移動度端が存在するアモルファス半導体のテール状態の発光と、類似している。

AlAs/GaAs 超格子に関しても層の厚さを変化させると励起子の発光エネルギーが変化する。1 周期の幅が 60 Å 程度を越える AlAs/GaAs 超格子のバンド構造や励起子の発光ダイナミクスに関しては Kronig-Penny の量子井戸モデルでよく近似され、単原子層超格子の場合は異方性をもった Al_{0.5}Ga_{0.5}As 混晶として近似してよい。しかし、その中間の厚さで、かつ AlAs 層と GaAs 層の厚さがほぼ等しい層厚 10~30 Å の短周期 AlAs/GaAs 超格子のバンド構造・励起子ダイナミクスは、不明の部分が多い。

この短周期 AlAs/GaAs 超格子の励起子発光(図5)において、発光強度が温度 T に対し $\exp(-T/T_0)$ の型に従い、また発光の減衰時定数が長いという事実に関しては F. Minami らの報告¹⁾があり、この超格子は間接遷移型であることが示唆されている。本研究では、自作した高圧装置用の低温クライオスタットを用い、励起子発光のエネルギー位置の圧力依存性を調べた。その結果、この発光の圧力依存性は GaAs 結晶の X 点でのものとほぼ一致し、この短周期 AlAs/GaAs 超格子の励起子発光は、X 点の性格をもっていることが分かった(図6)。また、上記の $x = x_c$ 近傍の間接遷移型 Al_{1-x}Ga_{1-x}As 混晶と同様にエネルギーを変えて励起子バンド内の減衰時定数の変化を測定してみると低エネルギー側がより長く、時間が経つとスペクトルの重心は低エネルギー側に移動している(図7)。これらの結果より、短周期 AlAs/GaAs 超格子のバンド構造及び励起子ダイナミクスは、 $x = x_c$ 近傍の間接遷移型 Al_{1-x}Ga_{1-x}As 混晶の場合とよく似ていることが想像できる。

以上のデータを基に、これらの系での励起子緩和を考えてみた。短周期 AlAs/GaAs 超格子は励起子の波動関数のバリアー層へのしみだしのため $x = x_c$ 近傍の間接型 Al_{1-x}Ga_{1-x}As 混晶と同様なバンド構造になっている。Al_{1-x}Ga_{1-x}As 混晶は混晶効果のため、短周期 AlAs/GaAs 超格子の場合は界面のゆらぎによりかなり大きな乱雑さが存在し、励起子状態にもアモルファス半導体的な局在状態が存在し、移動度端が存在していると考えている。移動度端より高エネルギー側では、励起子は自由に移動でき、無輻射過程中心と衝突する。移動度端より低エネルギー側では励起子は局在している。局在状態間の移動はフォノンの吸収または放出を伴うトンネリング過程により生じ、あるものは無輻射過程中心に衝突する。高エネルギー側への遷移より低エネルギー側への遷移の確率が大いため、時間分解スペクトルの重心は時間が経つと低エネルギー側へシフトしている。低エネルギー側では遷移先の局在状態の数が減るので、減衰時定数は低エネルギー側ほど長くなっている。高温になると局在状態間遷移に関与するフォノン数が増加するので、減衰時定数は短くなる。このモデルを基に計算を行い実験結果と比較した。理論と実験結果とはよい一致をみた。すなわち、これらの系では局在状態が存在し、局在状態間の遷移は、フォノンを介したトンネル過程で行われていることを示している。

Reference

- 1) F. Minami, K. Hirata, K. Era, T. Yao and Y. Masumoto, Phys. Rev. B **36**, 2875 (1987).

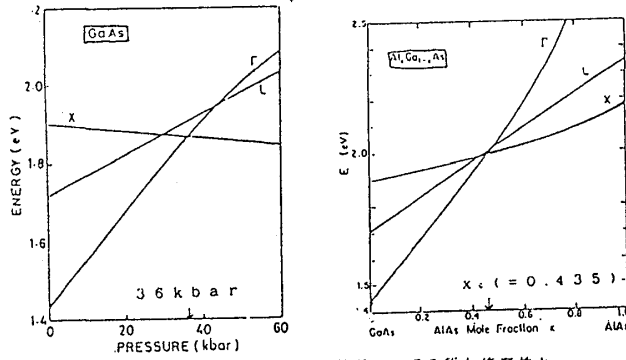


図1. GaAs結晶におけるバンドギャップの圧力依存性と
Al_xGa_{1-x}As 混晶におけるバンドギャップの混晶比依存性

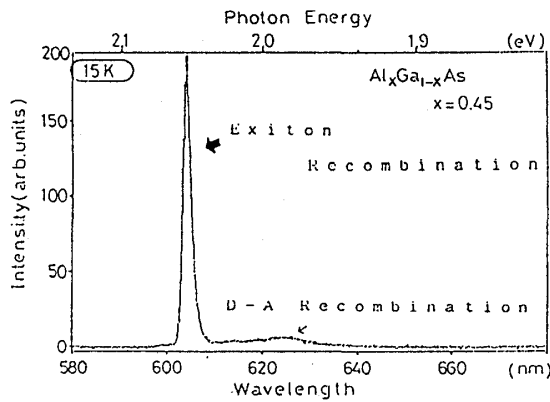


図2. CW スペクトル (Al_{0.45}Ga_{0.55}As 混晶)

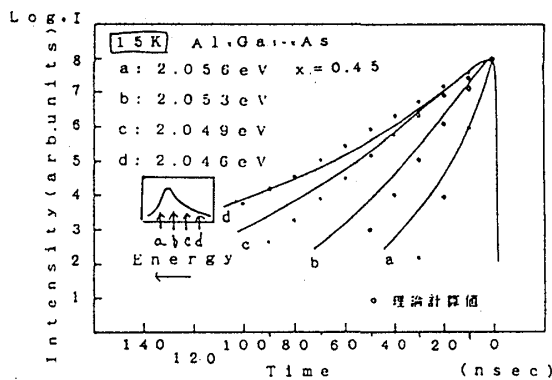


図3. 発光バンド内の発光強度の時間変化 (Al_{0.45}Ga_{0.55}As 混晶)

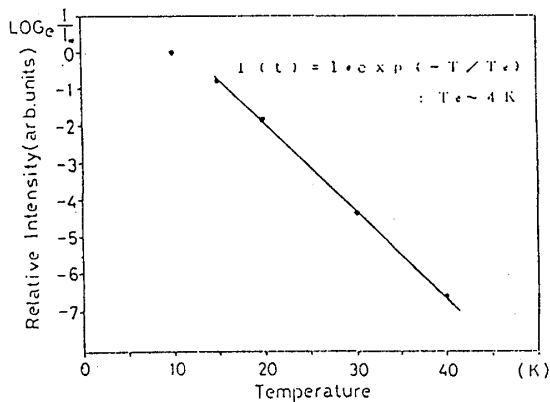


図4. 発光強度の温度依存性 (Al_{0.45}Ga_{0.55}As 混晶)

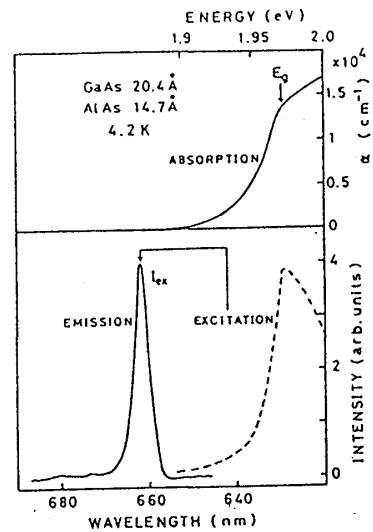


図5. 吸収スペクトル、発光スペクトル、励起スペクトル
(14.7 Å-AlAs / 20.4 Å-GaAs 超格子)

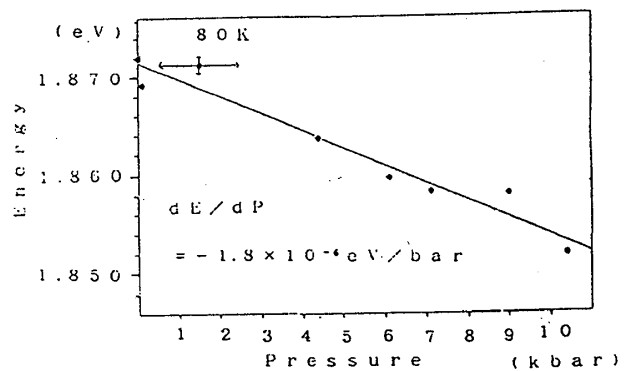


図6. 発光ピークエネルギーの圧力依存性
(14.7 Å-AlAs / 20.4 Å-GaAs 超格子)

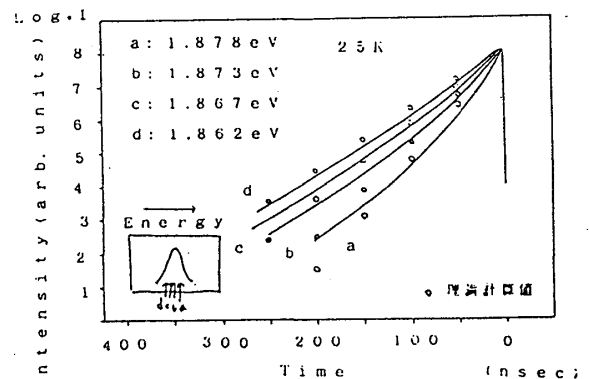


図7. 発光バンド内の発光強度の時間変化
(14.7 Å-AlAs / 20.4 Å-GaAs 超格子)

図1右: N.Chand et al., Phys.Rev.B30, 4481(1984)より引用.

図5: F.Minami et al., Phys.Rev.B36, 2875(1987)より引用.